

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Publication number:

0 251 524 B1

(12)

EUROPEAN PATENT SPECIFICATION

(43) Date of publication of patent specification: 18.03.92 (51) Int. Cl.⁵: B05B 17/06

(21) Application number: 87305111.4

(22) Date of filing: 10.06.87

(54) Ultrasonic atomizing vibratory element

(30) Priority: 27.06.86 JP 97790/86

(43) Date of publication of application:
07.01.88 Bulletin 88/01

(45) Publication of the grant of the patent:
18.03.92 Bulletin 92/12

(84) Designated Contracting States:
DE FR GB IT SE

(68) References cited:
EP-A- 0 159 189

(73) Proprietor: Tonen Corporation
1-1, Hitotsubashi, 1-Chome Chiyoda-Ku
Tokyo(JP)

(72) Inventor: Kurokawa, Hitoshi
1-4-1-143 Nishitsurugaoka Oi-machi
Iruma-gun Saitama-ken(JP)
Inventor: Ishikawa, Kiyoe
1-4-1-123 Nishitsurugaoka Oi-machi
Iruma-gun Saitama-ken(JP)
Inventor: Tanaka, Yasuhisa
2-22-27, Saiwai-cho
Tachikawa-shi Tokyo(JP)
Inventor: Takezi, Hiroyuki
5-15-16, Midorigaoka Hamura-cho
Nishitama-gun Tokyo(JP)

(74) Representative: Slight, Geoffrey Charles et al
Graham Watt & Co. Riverhead
Sevenoaks Kent TN13 2BN(GB)

Note: Within nine months from the publication of the mention of the grant of the European patent, any person may give notice to the European Patent Office of opposition to the European patent granted. Notice of opposition shall be filed in a written reasoned statement. It shall not be deemed to have been filed until the opposition fee has been paid (Art. 99(1) European patent convention).

Descripti n

Technical Field

The present invention relates generally to an ultrasonic atomizing apparatus, and particularly to a vibrating element for use with an ultrasonic atomizing apparatus for atomizing liquid either intermittently or continuously. Such an element may be effectively used with (1) automobile fuel injection devices such as electronically controlled gasoline injection valves and electronically controlled diesel fuel injection valves, (2) gas turbine fuel nozzles, (3) burners for use on industrial, commercial and domestic boilers, heating furnaces and heating devices, (4) industrial liquid atomizers such as drying atomizers for drying liquid materials such as foods, medicines, agricultural chemicals, fertilizers and the like, spray heads for controlling temperature and humidity, atomizers for calcining powders (pelletizing ceramic), spray coating devices and reaction promoting devices, and (5) liquid atomizers for uses other than industrial ones, such as spreaders for agricultural chemicals and antiseptic solution.

Background Art

Pressure atomizing burners or liquid atomizers have been heretofore used to atomize liquid in the various fields of art as mentioned above. The term "liquid" herein used is intended to mean not only liquid but also various liquid materials such as a suspension, a solution or the like. In the injection nozzles used on such spray burners and the liquid atomizers, the liquid is atomized by virtue of the shearing action between the liquid injected from the nozzles and the ambient air (atmospheric air). Accordingly, in order to atomize the liquid supplied, it is required to increase the liquid supply pressure, resulting in making the liquid supplying facility such as pumps, piping and the like complicated and large-sized ones.

Further, regulation of the flow rate of injection is effected by varying either the pressure of the liquid supplied or the area of the nozzle injecting port. However, the former method provides poor liquid atomization at a low flow rate (under a low pressure), as a remedy for which air or steam has additionally been used on medium-sized or large-sized boilers to aid in atomization of the liquid fuel supplied. Therefore apparatus become more and more complicated and enlarged.

On the other hand, the latter method requires an extremely intricate structure of nozzle which is troublesome to control and maintain.

To improve the defects of such prior art injection nozzles, attempts have been made to impart

ultrasonic waves to a liquid material as the liquid material is injected from the injection port of the injection nozzle under pressure.

However, the conventional ultrasonic liquid injection nozzle cannot be used in circumstances which require a large amount of atomized liquid because it has extremely small capacity for pulverization.

As a result of extensive researches and experiments conducted on the ultrasonic liquid atomizing mechanism and the configuration of the ultrasonic vibrating element so as to accomplish atomization of a large amount of liquid, the present applicants have found that by providing an edged portion at the end portion of an ultrasonic vibrating element and supplying liquid to the edged portion in a film form, a large quantity of liquid can be atomized at the edged portion, and have proposed an ultrasonic injection method and an injection nozzle on that basis (see European Patent Application EP-A-0 159 189).

The present invention relates to improvements in the ultrasonic atomizing apparatus described above, and particularly to improvements in the vibrating element for use with the atomizing apparatus.

Accordingly, an object of the present invention is to provide an ultrasonic atomizing vibratory element which is capable of accomplishing satisfactorily either continuous or intermittent liquid supply.

Another object of the present invention is to provide an ultrasonic atomizing vibratory element which is capable of stably and effectively atomizing liquid either in a large amount or a small amount and therefore providing an extremely large turn-down ratio as well as mixing the atomized liquid with air for combustion, particularly in fuel injection nozzles for use in domestic heating boilers, gas turbines, automobiles and the like.

A further object of the present invention is to provide an ultrasonic atomizing vibratory element which is capable of accomplishing stable atomization without fluctuating the states of atomization (flow rate and particle size) of the supplied liquid. In particular, the element of the present invention may be suitably used for a horizontally disposed combustor.

Summary of the Invention

The present invention provides an ultrasonic atomizing vibratory element comprising an elongated shank and an edged portion which has at least one flat portion stepwise formed at the tip of the elongated shank, the flat portion of said edged portion being supplied with liquid to atomize said liquid.

Brief Description of the Drawings

One way of carrying out the present invention will now be described in detail by way of example with reference to Fig. 1 of the accompanying drawings which is a fragmentary perspective view of an embodiment of an ultrasonic atomizing vibratory element in accordance with the present invention, FIG. 2 being a sectional view of a conventional ultrasonic atomizing apparatus which will be described in detail, by way of comparison.

Detailed description with reference to the accompanying drawings.

With reference first to Fig. 2, the conventional apparatus, namely, a fuel atomizer 1 for use with a kerosene heater used as a burner for a domestic heater, for example, is provided with a vibrating element 10 in a sideways position. The vibrating element 10 includes a body portion 12 positioned on the right in this embodiment, an elongated, cylindrical shank 14 of the vibrating element having a diameter smaller than that of the body portion 12 and a transition portion 16 connecting the body portion 12 and the shank 14. The body portion 12 is provided with an enlarged diameter flange 18 which is supported by a holder 20, and the vibrating element 10 is secured to a heater body (not shown) through the holder 20.

The tip of the vibrating element 10, that is, the tip on the left of the shank 14 in this embodiment is formed with an edged portion 22. Further, one or more fuel supplying pipes 30 are disposed adjacent to the edged portion 22 of the shank 14, which feed the fuel to the edged portion 22. The fuel supplying pipes are supplied with the liquid fuel from a fuel supplying source (not shown) through external supplying lines (not shown). The flow and flow rate of fuel are controlled by supplying valves (not shown) disposed in the external supplying lines.

With the construction described above, the vibrating element 10 is continuously vibrated by an ultrasonic vibration generating means 100 operatively connected to the body portion 12. Accordingly, liquid fuel is supplied through the lines, the supplying valves and the supplying pipes 30, to the edged portion 22 where the fuel is atomized and outwardly injected.

The edged portion 22 of the vibrating element 1 is usually formed either with four annular steps having progressively increased diameters or with a plurality of annular steps having equal diameters as shown.

The atomizing apparatus having such construction operates extremely effectively. However, the present inventors have found that the atomizing

apparatus such as fuel injection nozzles for use with a boiler, a gas turbine or an automobile, and the like in which the flow rate and thus supplying speed of fuel varies in response to the running load has various drawbacks.

Particularly, with the construction of the atomizing apparatus of the type as shown in Fig. 2 in which a vibrating element is horizontally disposed, and constructed as shown in Fig. 2, at an increased flow rate of fuel supply a part of the fuel may fall in drops without being fed to the edged portion, or the particle size of the liquid being pulverized may be increased.

The occurrence of such phenomena causes incomplete combustion resulting in increasing hydrocarbon, carbon monoxide and soot in the exhaust gas. On the other hand, at a low flow rate of fuel the mixing of fuel and air for combustion is insufficiently effected resulting in lowering combustion efficiency and increasing hydrocarbon, carbon monoxide and soot in the exhaust gas similar to the above-mentioned.

The ultrasonic atomizing vibratory element according to the present invention and shown in Fig. 1 will now be described in detail with reference to Fig. 1.

While the present invention may be effectively used in various applications as mentioned above, in the present embodiment, the present invention will be described as being used as a fuel atomizer for a kerosene heater as explained in connection with Fig. 2. Fig. 1 merely shows an edged portion 22 at the tip of the vibratory element of the atomizer.

According to the present invention, the edged portion 22 of a vibrating element 10 is formed with a plurality of flat portions 24 and 26 which are stepwise formed at the tip of the vibrating element 10 (or the edged portion 22) and progressively reduced in the height of step in the direction from right to left in Fig. 1 in the present embodiment. The shape of the edged portion 22 as seen in the direction indicated by arrow X is suitably a circular shape but is not limited to such a shape. In the present embodiment, the edged portion is formed with two flat portions, namely a first flat portion 24 and a second flat portion 26 but the configuration of the edged portion 22 is not limited to this two step configuration and may comprise one step or more than two such steps.

Further, while the flat portions 24 and 26 are separately formed in horizontal planes in the present embodiment, they may be formed in planes slanted in any direction other than horizontal, if desired. Furthermore, respective flat portions may be slanted in different directions.

Further, a shank 14 of vibrating element 10 is formed with a groove 28 in the outer periphery of the shank 14 which groove receives fuel from a

fuel supplying pipe 30. The groove 28 is adapted to guide the fuel along the shank to the first stage flat portion 24. The groove 28 is progressively enlarged in cross-section from an upstream portion 28a which receives the fuel discharged out of the fuel supplying pipe 30 to a downstream portion 28b whereat the fuel is discharged to the flat portion 24. Preferably, the bottom surface of the groove is inclined downwardly in the direction from the fuel receiving portion 28a to the fuel discharging portion 28b, to facilitate the flow of the fuel along the groove.

Further, the groove may be of a U-shaped or V-shaped cross-section.

With the construction of vibrating element described with reference to, and as shown in, Fig. 1, the fuel which is supplied to the shank 14 of the vibrating element may be guided by the groove 28 to flow efficiently to the first flat portion 24. The fuel which is supplied to the first flat portion 24 may be spread over the first flat portion resulting in increasing the contacting area of the fuel and the edged portion. The fuel may be atomized at the flat portion 24 and its peripheral edges. The surplus fuel which is not atomized at the first flat portion 24 flows from the first flat portion to the second flat portion 26 to be again spread over the second flat portion 26 and to be atomized at the second flat portion and its peripheral edges. Thus, the present invention accomplishes an increased efficiency of pulverization and cooling of supply liquid.

In addition according to the present invention, it is possible to accomplish consistent liquid atomization and eliminate the trouble that the fuel supplied to the edged portion 22 in the prior art Fig. 2 construction falls in droplets.

Advantages of the Invention

With the construction as herein described according to the present invention with reference to Fig. 1, the ultrasonic atomizing vibratory element can stably and efficiently atomize either a large amount of, or a small amount of, liquid at the flat portion(s) formed in the edged portion, and resulting in providing a large turn down ratio and eliminating the problem of falling of the liquid in droplets.

Further, it is possible to accomplish stable combustion and reduction of hydrocarbon (HC), carbon monoxide (CO) and soot in exhaust gases in fuel injection nozzles for use with fuel atomizers for kerosene heaters, boilers, gas turbines, automobiles and the like; to a large extent.

In addition the vibratory element of Fig. 1 can accomplish consistent liquid atomization in that there is no substantial change in the conditions of atomization (flow rate and particle size), so that

particularly the vibratory element of Fig. 1 may effectively be used in a horizontal combustor.

Claims

1. An ultrasonic atomizing vibratory element (10) comprising an elongate shank (14) and an edged portion (22) which has at least one flat portion (24,26) stepwise formed at the tip of the elongate shank (14), said flat portion (24,26) of said edged portion (22) being supplied with liquid to atomize said liquid.
2. An ultrasonic atomizing vibratory element according to claim 1, wherein said flat portion (24,26) is in a substantially horizontal plane.
3. An ultrasonic atomizing vibratory element (10) according to claim 1 or claim 2, wherein said shank (14) is formed with a groove (28) for guiding the liquid to said flat portion (24,26) of the edged portion (22).
4. An ultrasonic atomizing vibratory element according to claim 3, wherein said groove (28) is progressively enlarged in section in the direction from a portion (28a) to receive the liquid to a portion (28b) to discharge the liquid to the flat portion (24) and the bottom surface of the groove (28) is inclined downwardly in the direction from said liquid receiving portion to said liquid discharging portion.
5. An ultrasonic atomizing vibratory element as claimed in any preceding claim, wherein the edged portion (22) comprises more than one step (24,26).
6. An ultrasonic atomizing vibratory element as claimed in claim 5, wherein the steps (24,26) both lie in horizontal planes.
7. An ultrasonic atomizing vibratory element as claimed in claim 5, wherein the steps (24,26) lie in planes intersecting one another.

Revendications

1. Élément vibrant de pulvérisation ultrasonore (10) comprenant une tige allongée (14) et une portion à arêtes (22) qui comporte au moins une partie plate (24,26) formée en gradin à l'extrémité de la tige allongée (14), cette partie plate (24,26) de ladite partie à arêtes (22) étant alimentée en liquide afin de pulvériser ce liquide.
2. Élément vibrant de pulvérisation ultrasonore

sivant la revendication 1 caractérisé en ce que la partie plate (24,26) est située dans un plan sensiblement horizontal.

3. Elément vibrant de pulvérisation ultrasonore
suivant l'une quelconque des revendications 1
ou 2 caractérisé en ce que la tige (14) est
formée avec une gorge (28) pour le guidage
du liquide en direction de ladite partie plate
(24,26) de la partie à arêtes (22). 5
4. Elément vibrant de pulvérisation ultrasonore
suivant la revendication 3 caractérisé en ce
que la gorge (28) est progressivement élargie
en coupe transversale à partir d'une partie
(28a) destinée à recevoir le liquide et en direc-
tion d'une partie (28b) destinée à décharger le
liquide sur la partie plate (24), et la surface du
fond de la gorge (28) est inclinée vers le bas
dans la direction allant de la partie recevant le
liquide à la partie déchargeant ce liquide. 10
5. Elément vibrant de pulvérisation ultrasonore
suivant l'une quelconque des revendications
précédentes caractérisé en ce que la partie à
arêtes (22) comprend plus d'un gradin (24,26). 15
6. Elément vibrant de pulvérisation ultrasonore
suivant la revendication 5 caractérisé en ce
que les gradins (24,26) sont tous situés dans
des plans horizontaux. 20
7. Elément vibrant de pulvérisation ultrasonore
suivant la revendication 5 caractérisé en ce
que les gradins (24,26) sont situés dans des
plans se recoupant les uns les autres. 25

(24,26) des Randteils (22) versehen ist.

4. Vibratorelement zur Ultraschallzerstäubung
nach Anspruch 3, bei dem die Nut (28) fort-
schreitend im Querschnitt in Richtung von ei-
nem Bereich (28a) zur Aufnahme der Flüssig-
keit zu einem Bereich (28b) zur Abgabe der
Flüssigkeit an den ebenen Bereich (24) erwei-
tert und die Bodenfläche der Nut (28) in Rich-
tung vom Flüssigkeitsaufnahmebereich zum
Flüssigkeitsabgabebereich nach unten geneigt
ist.
5. Vibratorelement zur Ultraschallzerstäubung
nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem der Randteil (22) mehr als eine Stufe
(24,26) umfaßt. 15
6. Vibratorelement zur Ultraschallzerstäubung
nach Anspruch 5, bei dem die Stufen (24,26)
beide in horizontalen Ebenen liegen. 20
7. Vibratorelement zur Ultraschallzerstäubung
nach Anspruch 5, bei dem die Stufen (24,26)
in einander schneidenden Ebenen liegen. 25

Patentansprüche

1. Vibratorelement (10) zur Ultraschallzerstäu-
bung, bestehend aus einem langgestreckten
Schaft (14) und einem Randteil (22), der zu-
mindest einen ebenen Bereich (24,26) besitzt,
der stufenförmig an der Spitze des langge-
streckten Schaftes (14) gebildet ist, wobei dem
ebenen Bereich (24,26) des Randteils (22)
Flüssigkeit zugeführt wird, um die Flüssigkeit
zu zerstäuben. 40
2. Vibratorelement zur Ultraschallzerstäubung
nach Anspruch 1, bei dem der ebene Bereich
(24,26) in einer im wesentlichen horizontalen
Ebene liegt. 45
3. Vibratorelement (10) zur Ultraschallzerstäu-
bung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei
dem der Schaft (14) mit einer Nut (28) zum
Führen der Flüssigkeit zu dem ebenen Bereich
50

FIG. 1

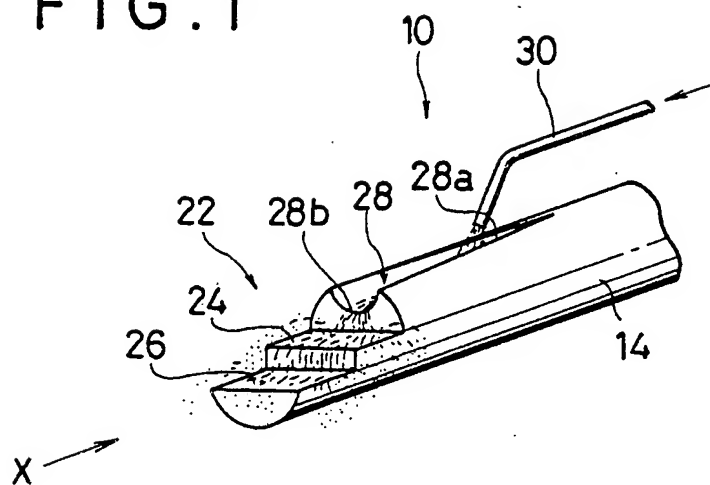
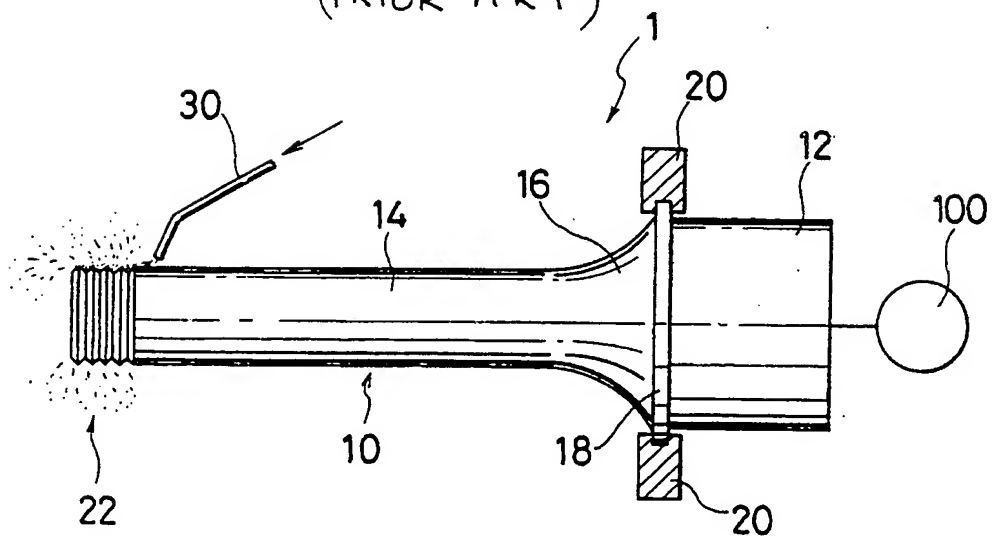


FIG. 2
(PRIOR ART)



Translator's Report/Comments

German Laid-Open Specification DE 3912524 A1

Your ref: 10752.1

Your order of (date): 11/16/98

In translating the above text we have noted the following apparent errors/unclear passages which we have corrected or amended:

| Page/para/line* | Comment |
|-----------------|---|
| Col 1/49 | "...aufstellung" - in our copy this could also be read as "...aufsteilung". "Aufsteilen" is not a common word, but could be read here to mean "make steeper". In this case, the translation would be "...generator makes the capillary wave steeper...". On balance, however, the version given in the translation seems more likely. |
| Col 2/31 | d die → p die |

* This identification refers to the source text. Please note that the first paragraph is taken to be, where relevant, the end portion of a paragraph starting on the preceding page. Where the paragraph is stated, the line number relates to the particular paragraph. Where no paragraph is stated, the line number refers to the page margin line number.

Translation of German Laid-Open Specification DE 3912524 A1

Device for periodically producing drops of very small dimension

Description

The invention relates to a device for periodically producing drops according to the preamble of patent claim 1.

Such drop-producing devices are required, for example, in investigating turbulence in flows by means of contactless optical measurement methods, and in producing very small particles in the case of problems in production engineering. The periodically produced drops enter a resting or flowing gas, their behaviour in the gas being investigated.

A device of the type specified in the preamble of patent claim 1 is known from DE-37 13 253 A1. The ultrasonic atomizer system described there serves to inject fuel into internal combustion engines. A prechamber which has a plurality of openings is provided at the outlet of a fuel line opening into an air intake tube. Projecting into the prechamber as a sound conductor is a wire which transmits vibrations into the chamber from a vibration generator. The liquid pressure is produced by a fuel pump, and a proportioning device doses the fuel feed as a function of performance characteristics of the internal combustion engine. The atomization is not performed in a defined pressure range. Consequently, it is not possible to produce drops of the same size with a constant drop frequency, nor is this

required for fuel injection in internal combustion engines. The vibration pulses are so strong that they necessarily cause the production of drops at any pressure at all.

DE-AS 22 59 521 describes a device for dividing a high-velocity liquid jet into a sequence of liquid droplets with the aid of high-frequency vibrations. In this case, the liquid in the chamber is under high pressure. The data on pressure, nozzle opening and vibration frequency show upon closer examination that the vibration frequency is much too high to be able to use the vibration generator to influence the atomization in any way at all.

Finally, JP-58-1 22 073 A (Patent abstracts C0190, 14.10.83, Vol. 7, No. 232) describes an atomization device of which there is arranged in a chamber a vibration generator which has a hole directed axially relative to the exit opening of the chamber. The vibration generator sets up a capillary wave in the chamber, as a result of which an aerosol cloud is spun off from the sound-generating plate.

In the practice of periodically producing drops, the problem arises that liquids also have to be atomized in a defined way under very high or very low temperatures. Such a defined atomization at strongly varying temperatures is not possible using the known devices for periodically producing drops.

It is the object of the invention to create a device of the type specified in the preamble of Patent Claim 1 by means of which it is possible to produce very small drops by atomization even at very low and very high temperatures (for example in the range from 123°K to 513°K).

This object is achieved according to the invention by means of the features specified in the characterizing part of Patent Claim 1.

The device according to the invention contains a prechamber with a small opening from which the liquid jet emerges. The liquid is located in the prechamber at so high a pressure that a continuous laminar jet emerges from the prechamber opening when the quartz crystal acoustic transducer is not excited. The prechamber opening has a relatively small diameter which is less than 50 μm . When the quartz crystal acoustic transducer is periodically excited, the liquid jet emerging from the opening is atomized into very fine droplets which are produced in a constant temporal sequence and are of constant size. If, for example, an opening with a diameter of 20 μm is used, and a calculated associated laminar jet velocity of 18 m/s is set with the aid of the conveying pressure, the required disturbing frequency of

$$f = u/4.5d = 18/4.5 \times 20 \times 10^{-6} = 200 \text{ kHz}$$

is produced.

A precondition for the atomization according to the method described here is the formation of a laminar jet. A laminar jet forms whenever its velocity u satisfies the following inequality:

$$\sqrt{2 \cdot \sigma / d \cdot \rho} \leq u \leq 10^{\frac{1.31}{10 \lg(\frac{1}{50} \sqrt{d \cdot \rho / \sigma})}}$$

Here, d is the jet diameter, ρ the liquid density and σ the surface tension of the liquid with respect to the surrounding gas. This inequality was derived from publications (The Review Sci. Instrum. 39 (1968), pages 1088-1089 and ZAMM 16 (1936), pages 355-358).

The pressure required to realize a laminar jet serves only to overcome the flow resistance inside the device; it is therefore a function of the design of the device and consequently cannot be described mathematically, requiring, rather, to be determined empirically.

It is known from the classical theory of Lord Rayleigh (Proc. Lond. Math. Soc. 10 (1878), pages 4 - 13), that a laminar liquid jet decays spontaneously into drops. In the present case, the atomization is synchronized, with the aid of a periodic disturbance which is impressed on the liquid jet, in such a way that the liquid jet decays into drops of the same size and the same temporal spacing. This process takes place precisely when the wave equation

$$u = 4.5 \cdot d \cdot f$$

specified by Rayleigh is satisfied; here, u is the outflow velocity, d the exit diameter, f the frequency of a disturbance impressed on the jet, and the quantity $4.5 \cdot d$ is the disturbing wavelength.

In the device according to the invention, the hydrostatic pressure in the prechamber is set so that a laminar flow through the opening is produced without exciting the vibration generator. This pressure is set empirically. As the inequality shows, there

is a velocity range defined by an upper limit and a lower limit in which laminar flow is produced. The position of this velocity range is a function of viscosity, density, surface tension and the diameter. A non-synchronized atomization occurs when this velocity condition is met. The jet emerging in the laminar fashion from the opening is atomized spontaneously in its further course. According to the invention, vibration is generated in such a way that this natural atomization is supported by the vibration generator. In this case, the frequency is a function of the outflow velocity u . The vibration frequency need not be exactly of the calculated magnitude, but should not substantially deviate therefrom.

The opening of the prechamber is preferably round, but other opening geometries also come into consideration, for example square or polygonal openings. In any case, the ratio of two arbitrary diameters which pass through the centre point of the opening is not greater than $\sqrt{2}:1$.

Use is made as vibration generators of elements which are customarily used as pressure pick-ups and output an electric charge which is proportional to the mechanical pressure acting on them. These pressure pick-ups are applied in an inverse way in that they are electrically excited, their geometrical dimensions are changed, and thus sound is emitted. Quartz crystal acoustic transducers are suitable for emitting high-frequency acoustic processes in a wide range of ambient temperatures, because of the high natural frequency and high degree of stiffness. This

property is used in accordance with the invention to generate sound of high frequency. The quartz crystal acoustic transducer is fed with controllable amplitude and frequency from an AC voltage source.

According to Claim 4, at least two quartz crystal acoustic transducers are provided which are operated at the same frequency but with different phase angles. It is possible in this way to amplify the amplitude in a way controlled by varying the phase difference in the excitation of the two acoustic transducers.

Exemplary embodiments of the invention is explained in more detail below with reference to the drawings, in which:

Figure 1 shows a longitudinal section through a drop-producing device having a single quartz crystal acoustic transducer, and

Figure 2 shows a longitudinal section through a drop-producing device having two quartz crystal acoustic transducers.

In the case of the device represented in Figure 1, in the housing 10 the liquid at an appropriate initial pressure is fed to a prechamber 12 via the bore 11 and the bore 11' adjoining the latter. Sound waves are generated periodically in the prechamber 12 with the aid of an acoustic transducer 13 (quartz crystal pressure pick-up) which can be used as an electroacoustic transducer; said sound waves are transmitted into the prechamber 12 via the attachment 13a projecting into the prechamber. These acoustic vibrations are superimposed on the hydrostatic pressure prevailing in the prechamber 12. The housing 10 is sealed with a

cover 16 which is retained by a union nut 17 on the housing 10. Located in the cover 16 is an opening 16a which is surrounded on the inner side by a seal 18. The seal 18 presses a thin platelet 14 with a thickness of less than 1 mm against the wall of the housing 10. The platelet 14 forms the outer termination of the prechamber 12, and it contains an opening 15 which is arranged centrally in the opening 16a. The diameter of the opening 15 is smaller than 50 μm .

In the bores 11 and 11', and in the prechamber 12 the liquid is under a pressure which is so great that without the effect of sound the liquid emerges from the round opening 15 in the laminar jet; if the sound generator 13 is periodically excited, the liquid jet decays directly downstream of the opening 15 into small droplets whose temporal sequence corresponds to the exciter frequency, and which have temporally constant spacings from one another.

In the exemplary embodiment of Figure 2, attachments 13a and 19a of the two vibration generators 13 and 19 project into the prechamber 12 from opposite sides. The two vibration generators are excited at the same frequency but with different phase angles. As a result, it is possible to amplify the amplitude of the acoustic vibrations by interference. Moreover, by varying the phase difference the spatial position of the amplification of the amplitude can be varied such that the position and instant of the production of drops from the laminar jet can be varied within certain limits. Consequently, once its geometrical dimensions have been laid down a device can be more

effectively adapted to the respective requirements for the purpose of periodically producing drops of very small dimension.

It is expedient for the ratio of depth : diameter to be approximately 4 for the opening 15, in order firstly to obtain an acceptable laminar jet, which then decays into drops of equal size under the influence of the disturbing frequency.

Patent Claims

1. Device for periodically producing drops of very small dimension, having a vibration generator which acts on the liquid contained in a prechamber (12), the liquid being atomized upon emerging from an opening (15) in the prechamber (12), characterized in that the prechamber (12) is fed the liquid under a pressure such that in the undisturbed state the liquid flows out continuously as a laminar jet through the opening (15) of the prechamber (12).

2. Device according to Claim 1, characterized in that the pressure in the prechamber is dimensioned such that the following relationship:

$$\sqrt{2 \cdot \sigma / d \cdot \rho} \leq u \leq 10^{\frac{1.3l}{10g(\frac{1}{50}\sqrt{d \cdot \rho / \sigma})}}$$

is satisfied for the outflow velocity u :

d being the jet diameter, ρ the liquid density and σ the surface tension of the liquid with respect to the surrounding gas.

3. Device according to Claim 1 or 2, characterized in that the vibration generator projects into the prechamber (12).

4. Device according to one of Claims 1 to 3, characterized in that at least two vibration generators (13, 19) which can be periodically excited with different phase angles act on the prechamber (12).

5. Device according to one of Claims 1 to 4, characterized

in that the ratio of depth : diameter is approximately 4 for the opening (15).

ABSTRACT

The device has in a housing (10) a prechamber (12) from which a small opening (15) leads outward. Liquid in the prechamber (12) is under static pressure which produces a laminar jet emerging from the opening (15). This jet is disturbed by a quartz crystal acoustic transducer (13) which irradiates the liquid located in the prechamber (12) with sound. An important advantage consists in that the drop-producing device operates reliably in a wide temperature range.

DE 3912524 A1

DIALOG(R)File 351:DERWENT WPI

(c) 2000 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

008060460 **Image available**

WPI Acc No: 89-325572/198945

Device for producing fine droplets of liq. - has quartz crystal which generates vibrations to break up jet

Patent Assignee: DEUT FORSCH LUFT RAUMFAHRT EV (DELF)

Inventor: BAUMER J K; REQUARDT G; WIEGAND H

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

| Patent No | Kind | Date | Applicat No | Kind | Date | Main IPC | Week |
|-----------|------|------|-------------|------|------|----------|------|
|-----------|------|------|-------------|------|------|----------|------|

| | | | | | | | |
|------------|---|----------|------------|---|----------|--|----------|
| DE 3912524 | A | 19891102 | DE 3912524 | A | 19890414 | | 198945 B |
|------------|---|----------|------------|---|----------|--|----------|

Priority Applications (No Type Date): DE 3813188 A 19880420; DE 3912524 A 19890414

Patent Details:

| Patent | Kind | Lan | Pg | Filing Notes | Application | Patent |
|--------|------|-----|----|--------------|-------------|--------|
|--------|------|-----|----|--------------|-------------|--------|

| | | | | | | |
|------------|---|--|---|--|--|--|
| DE 3912524 | A | | 5 | | | |
|------------|---|--|---|--|--|--|

Abstract (Basic): DE 3912524 A

The invention concerns a device for producing drops of liquid of the smallest possible dimensions. The device consists of a body (10) with a recess (12) in its end face in which a quartz crystal (13) is fitted. The recess (12) is covered by a small thin plate (14) which has a central hole (15) with a diameter of less than 50 micro-metres.

Liquid is supplied through holes (11) and (11') in the body (10) at such a pressure that it flows through the hole (15) in the form of a laminar flow jet. When the quartz crystal is excited it generates sonic vibrations which break up the jet into very small droplets.

USE - Fuel injection systems for internal combustion engines.

1/2

Derwent Class: P42

International Patent Class (Additional): B05B-001/08; B05B-007/02; B05B-017/06

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 3912524 A1

⑳ Aktenzeichen: P 39 12 524.6
㉑ Anmeldetag: 14. 4. 89
㉒ Offenlegungstag: 2. 11. 89

㉓ Int. Cl. 4:
B 05 B 17/06

B 05 B 1/08
B 05 B 1/06
B 05 B 1/10
B 05 B 7/02

DE 3912524 A1

㉔ Innere Priorität: ㉕ ㉖ ㉗

20.04.88 DE 38 13 188.9

㉘ Anmelder:

Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft-
und Raumfahrt eV, 5000 Köln, DE

㉙ Vertreter:

von Kreisler, A., Dipl.-Chem.; Selting, G., Dipl.-Ing.;
Werner, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Schönwald, K.,
Dr.-Ing.; Fues, J., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Böckmann
gen. Dallmeyer, G., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 5000
Köln

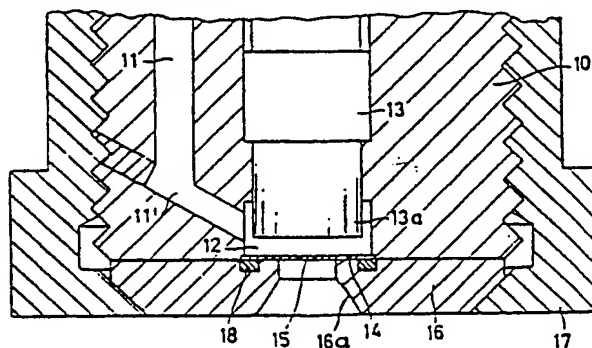
㉚ Erfinder:

Bäumer, Klaus, Dipl.-Ing., 5300 Bonn, DE; Requardt,
Günter, Dipl.-Ing., 5205 St Augustin, DE; Wiegand,
Herbert, Dr.-Ing., 5000 Köln, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉛ Vorrichtung zur periodischen Erzeugung von Tropfen kleinster Abmessungen

Die Vorrichtung weist in einem Gehäuse (10) eine Vorkammer (12) auf, von der eine kleine Öffnung (15) nach außen führt. In der Vorkammer (12) steht die Flüssigkeit unter einem statischen Druck, durch den ein aus der Öffnung (15) austretender laminarer Strahl erzeugt wird. Dieser Strahl wird durch einen Quarzkristall-Schallwandler (13) gestört, welcher die in der Vorkammer (12) befindliche Flüssigkeit mit Schall beaufschlagt. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, daß die Tropfenerzeugungsvorrichtung in einem weiten Temperaturbereich zuverlässig arbeitet.



DE 3912524 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur periodischen Erzeugung von Tropfen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Derartige Tropfenerzeugungsvorrichtungen werden beispielsweise bei Untersuchungen der Turbulenz in Strömungen mittels berührungsloser optischer Meßverfahren und bei der Erzeugung kleinster Partikel bei verfahrenstechnischen Problemstellungen benötigt. Die periodisch erzeugten Tropfen treten in ein ruhendes oder strömendes Gas ein, wobei ihr Verhalten in dem Gas untersucht wird.

Eine Vorrichtung der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art ist bekannt aus DE-37 13 253 A1. Die dort beschriebene Ultraschallzerstäuberanlage dient zum Einspritzen von Kraftstoff in Brennkraftmaschinen. Am Ausgang einer in ein Luftsaugrohr mündenden Kraftstoffleitung ist eine Vorkammer vorgesehen, die mehrere Öffnungen aufweist. In die Vorkammer ragt ein Draht als Schall-Leiter hinein, der Schwingungen von einem Schwingungserzeuger in die Kammer überträgt. Der Flüssigkeitsdruck wird durch eine Kraftstoffpumpe erzeugt und eine Mengen-Zumßeinrichtung dosiert die Brennstoffzufuhr in Abhängigkeit von Betriebskenngrößen der Brennkraftmaschine. Die Zerstäubung erfolgt nicht in einem definierten Druckbereich. Daher ist die Erzeugung von Tropfen gleicher Größe mit konstanter Tropfenfrequenz nicht möglich und bei der Kraftstoffeinspritzung in Brennkraftmaschinen auch nicht erforderlich. Die Schwingungsimpulse sind so stark, daß sie eine Zertropfung bei jedem beliebigen Druck erzwingen.

DE-AS 22 59 521 beschreibt eine Vorrichtung zum Zerteilen eines Hochgeschwindigkeitsflüssigkeitsstrahls in eine Folge von Flüssigkeitströpfchen mit Hilfe von Hochfrequenzschwingungen. Dabei steht die Flüssigkeit in der Kammer unter hohem Druck. Die Angaben über Druck, Düsenöffnung und Schwingfrequenz zeigen bei näherer Untersuchung, daß die Schwingfrequenz viel zu hoch ist, um die Zertropfung von dem Schwingungserzeuger überhaupt noch beeinflussen zu können. Schließlich beschreibt JP-58-1 22 073 A (patent abstracts C-190, 14.10.83, Vol. 7, No. 232) eine Zerstäubungsvorrichtung, bei der in einer Kammer ein Schwingungserzeuger angeordnet ist, der ein axial zu der Austrittsöffnung der Kammer gerichtetes Loch aufweist. Der Schwingungserzeuger bewirkt in der Kammer eine Kapillarwellenaufteilung, wodurch ein Abschleudern einer Aerosolwolke von der schallerzeugenden Platte erfolgt.

In der Praxis der periodischen Tropfenerzeugung tritt das Problem auf, daß Flüssigkeiten auch unter sehr tiefen oder sehr hohen Temperaturen in definierter Weise zertropft werden müssen. Eine solche definierte Zertropfung bei stark variierenden Temperaturen ist mit den bekannten Vorrichtungen zur periodischen Tropfenerzeugung nicht möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art zu schaffen, mit der es möglich ist, sehr kleine Tropfen auch bei sehr tiefen und sehr hohen Temperaturen (z.B. im Bereich von 123° K bis 513° K) zu zertropfen.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß mit den im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung enthält eine Vor-

kammer mit einer kleinen Öffnung, aus der der Flüssigkeitsstrahl austritt. In der Vorkammer befindet sich die Flüssigkeit unter einem so hohen Druck, daß bei nicht-erregtem Quarzkristall-Schallwandler ein kontinuierlicher laminarer Strahl aus der Vorkammeröffnung austritt. Die Vorkammeröffnung hat einen relativ geringen Durchmesser, der kleiner ist als 50 µm. Bei periodisch erregtem Quarzkristall-Schallwandler wird der aus der Öffnung austretende Flüssigkeitsstrahl in feinste Tröpfchen zertropft, die in konstanter zeitlicher Folge erzeugt werden und konstante Größe haben. Wird beispielsweise eine Öffnung mit einem Durchmesser von 20 µm benutzt und eine errechnete zugehörige laminare Strahlgeschwindigkeit von 18 m/s mit Hilfe des fördernden Druckes eingestellt, so ergibt sich die erforderliche Störfrequenz zu

$$f = u/4,5d = 18/4,5 \times 20 \times 10^{-6} = 200 \text{ kHz.}$$

Voraussetzung für die Zertropfung nach dem hier beschriebenen Verfahren ist die Ausbildung eines laminaren Strahls. Ein laminarer Strahl bildet sich dann aus, wenn seine Geschwindigkeit u folgende Ungleichung erfüllt:

$$2 \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma / d \cdot \rho} \leq u \leq 10^{1,11} \left(\frac{1}{30} \sqrt{d \cdot \rho} \right)$$

Hierin ist d der Strahldurchmesser, σ die Flüssigkeitsdicke und ρ die Oberflächenspannung der Flüssigkeit gegen das umgebende Gas. Diese Ungleichung wurde aus Veröffentlichungen hergeleitet (The Review Sci. Instrum. 39 (1968), S. 1088 – 1089 und ZAMM 16 (1936), S. 355 – 358).

Der Druck, der zur Realisierung eines laminaren Strahls erforderlich ist, dient lediglich der Überwindung des Strömungswiderstandes innerhalb der Vorrichtung, ist daher abhängig von ihrem Aufbau und somit nicht mathematisch beschreibbar, sondern empirisch zu ermitteln.

Aus der klassischen Theorie von Lord Rayleigh (Proc. Lond. Math. Soc. 10 (1878), S. 4 – 13), ist bekannt, daß ein laminarer Flüssigkeitsstrahl spontan in Tropfen zerfällt. Im vorliegenden Falle wird die Zertropfung mit Hilfe einer periodischen Störung, die dem Flüssigkeitsstrahl aufgeprägt wird, derart synchronisiert, daß der Flüssigkeitsstrahl in Tropfen gleicher Größe und gleichen zeitlichen Abstandes zerfällt. Dieser Vorgang spielt sich genau dann ab, wenn die von Rayleigh angegebene Wellengleichung

$$u = 4,5 \cdot d \cdot f$$

erfüllt ist; worin u die Ausströmgeschwindigkeit, d der Austrittsdurchmesser, f die Frequenz einer auf den Strahl aufgeprägten Störung und die Größe $4,5 \cdot d$ die Störwellenlänge ist.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird der hydrostatische Druck in der Vorkammer so eingestellt, daß sich ohne Erregung des Schwingungserzeugers eine laminare Strömung durch die Öffnung ergibt. Diese Einstellung des Drucks erfolgt empirisch. Wie die Ungleichung zeigt, existiert ein durch eine Obergrenze und eine Untergrenze definierter Geschwindigkeitsbereich, in dem laminare Strömung erzeugt wird. Die Lage dieses Geschwindigkeitsbereiches hängt ab von Viskosität

Dichte, Oberflächenspannung und dem Durchmesser. Bei Einhaltung dieser Geschwindigkeitsbedingung entsteht eine nicht synchronisierte Zertropfung. Der laminar aus der Öffnung austretende Strahl zertropft in seinem weiteren Verlauf spontan. Nach der Erfindung erfolgt die Schwingungserregung in der Weise, daß diese natürliche Zertropfung durch den Schwingungserzeuger unterstützt wird. Hierbei hängt die Frequenz von der Größe der Ausströmgeschwindigkeit u ab. Die Schwingfrequenz braucht nicht exakt die errechnete Größe zu haben, jedoch sollte sie hiervon nicht wesentlich abweichen.

Die Öffnung der Vorkammer ist vorzugsweise rund, jedoch kommen auch andere Öffnungsgeometrien in Betracht, z.B. quadratische oder polygone Öffnungen. In jedem Fall ist das Verhältnis zweier beliebiger Durchmesser, die durch den Öffnungsmittelpunkt hindurchgehen, nicht größer als

$$\sqrt{2} : 1.$$

Als Schwingungserzeuger werden Elemente benutzt, die üblicherweise als Druckaufnehmer verwendet werden und eine elektrische Ladung abgeben, die dem auf sie einwirkenden mechanischen Druck proportional ist. Diese Druckaufnehmer werden in umgekehrter Weise angewendet, indem sie elektrisch erregt werden, ihre geometrischen Abmessungen ändern und somit Schall abstrahlen. Infolge der hohen Eigenfrequenz und der großen Steifigkeit sind Quarzkristall-Schallwandler zur Abstrahlung hochfrequenter Schallvorgänge in einem weiten Bereich von Umgebungstemperaturen geeignet. Diese Eigenschaft wird nach der Erfindung zur Erzeugung von Schall hoher Frequenz genutzt. Der Quarzkristall-Schallwandler wird aus einer Wechselspannungsquelle mit steuerbarer Amplitude und Frequenz gespeist.

Nach Anspruch 4 sind mindestens zwei Quarzkristall-Schallwandler vorgesehen, die mit gleicher Frequenz, jedoch unterschiedlichen Phasenlagen, betrieben werden. Auf diese Weise kann eine Amplitudenverstärkung erfolgen, die durch das Variieren der Phasendifferenz der Erregung beider Schallwandler gesteuert werden.

Im folgenden werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine Tropfenerzeugungsvorrichtung mit einem einzigen Quarzkristall-Schallwandler und

Fig. 2 einen Längsschnitt durch eine Tropfenerzeugungsvorrichtung mit zwei Quarzkristall-Schallwandlern.

Bei der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung wird in dem Gehäuse 10 die unter einem entsprechenden Vor-
druck stehende Flüssigkeit über die Bohrung 11 und die
daran anschließende Bohrung 11' einer Vorkammer 12
zugeführt. In der Vorkammer 12 werden mit Hilfe eines
als elektroakustischer Schallwandler benutzbaren
Schallwandlers 13 (Quarzkristall-Druckaufnehmer) pe-
riodisch Schallwellen erzeugt, die über den in die Vor-
kammer 12 hineinragenden Ansatz 13a in die Vorkam-
mer übertragen werden. Diese Schallschwingungen
werden dem in der Vorkammer 12 herrschenden hydro-
statischen Druck überlagert. Das Gehäuse 10 ist mit
einem Deckel 16 abgeschlossen, der mit einer Über-
wurfmutter 17 am Gehäuse 10 festgehalten wird. Im
Deckel 16 befindet sich eine Öffnung 16a, welche an der

Innenseite von einer Dichtung 18 umgeben ist. Die
Dichtung 18 drückt ein dünnes Plättchen 14 von weni-
ger als 1 mm Stärke gegen die Wand des Gehäuses 10.
Das Plättchen 14 bildet den äußeren Abschluß der Vor-
kammer 12 und es enthält eine Öffnung 15, die mittig in
der Öffnung 16a angeordnet ist. Der Durchmesser der
Öffnung 15 ist kleiner als 50 μ m.

In den Bohrungen 11 und 11' sowie in der Vorkammer
12 befindet sich die Flüssigkeit unter einem Druck, der
so groß ist, daß ohne Schalleinwirkung die Flüssigkeit in
laminarem Strahl aus der runden Öffnung 15 austritt. Ist
der Schallerzeuger 13 periodisch erregt, dann zerfällt
der Flüssigkeitsstrahl unmittelbar hinter der Öffnung 15
in kleine Tröpfchen, deren zeitliche Folge der Erreger-
frequenz entspricht und die zeitlich konstante Abstände
voneinander haben.

Bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 2 ragen in die
Vorkammer 12 die Ansätze 13a und 19a der beiden
Schwingungserzeuger 13 und 19 von entgegengesetzten
Seiten her hinein. Beide Schwingungserzeuger werden
mit gleicher Frequenz, jedoch mit unterschiedlichen
Phasenlagen erregt. Dadurch ist eine Amplitudenver-
stärkung der Schallschwingungen durch Interferenz
möglich. Darüber hinaus kann durch Veränderung der
Phasendifferenz die räumliche Lage der Amplituden-
verstärkung so verändert werden, daß Ort und Zeit-
punkt der Tropfenentstehung aus dem laminaren Strahl
in gewissen Grenzen verändert werden können. Somit
kann eine einmal in ihren geometrischen Abmessungen
festgelegte Vorrichtung zur periodischen Erzeugung
von Tropfen kleinster Abmessungen den jeweiligen An-
forderungen besser angepaßt werden.

Zweckmäßigerweise beträgt für die Öffnung 15 das
Verhältnis Tiefe : Durchmesser etwa 4, um zunächst ei-
nen einwandfreien laminaren Strahl zu erhalten, der
dann unter der Einwirkung der Störfrequenz in gleich
große Tropfen zerfällt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur periodischen Erzeugung von Tropfen kleinster Abmessungen, mit einem Schwingungserzeuger, der auf die in einer Vorkammer (12) enthaltene Flüssigkeit einwirkt, wobei Flüssigkeit bei ihrem Austritt aus einer Öffnung (15) der Vorkammer (12) zertropft wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Vorkammer (12) die Flüssigkeit unter solchem Druck zugeführt wird, daß sie im ungestörten Zustand durch die Öffnung (15) der Vorkammer (12) kontinuierlich als laminarer Strahl ausströmt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck in der Vorkammer derart bemessen ist, daß für die Ausströmgeschwindigkeit u die folgende Beziehung erfüllt ist:

$$2 \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma / d \cdot \rho} \leq u \leq 10^{\frac{1,31}{\log \left(\frac{1}{50} \sqrt{\sigma / d \cdot \rho} \right)}}$$

worin d der Strahldurchmesser, ρ die Flüssigkeitsdichte und σ die Oberflächenspannung der Flüssigkeit gegen das umgebende Gas ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwingungserzeuger in die Vorkammer (12) hineinragt.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Vorkammer

(12) mindestens zwei Schwingungserzeuger (13, 19) einwirken, die mit unterschiedlichen Phasenlagen periodisch erregbar sind.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis Tiefe : Durchmesser der Öffnung (15) etwa 4 beträgt.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

3912524

- 1/1 -

Nummer: 39 12 524
 Int. Cl.⁴: B 05 B 17/06
 Anmeldetag: 14. April 1989
 Offenlegungstag: 2. November 1989

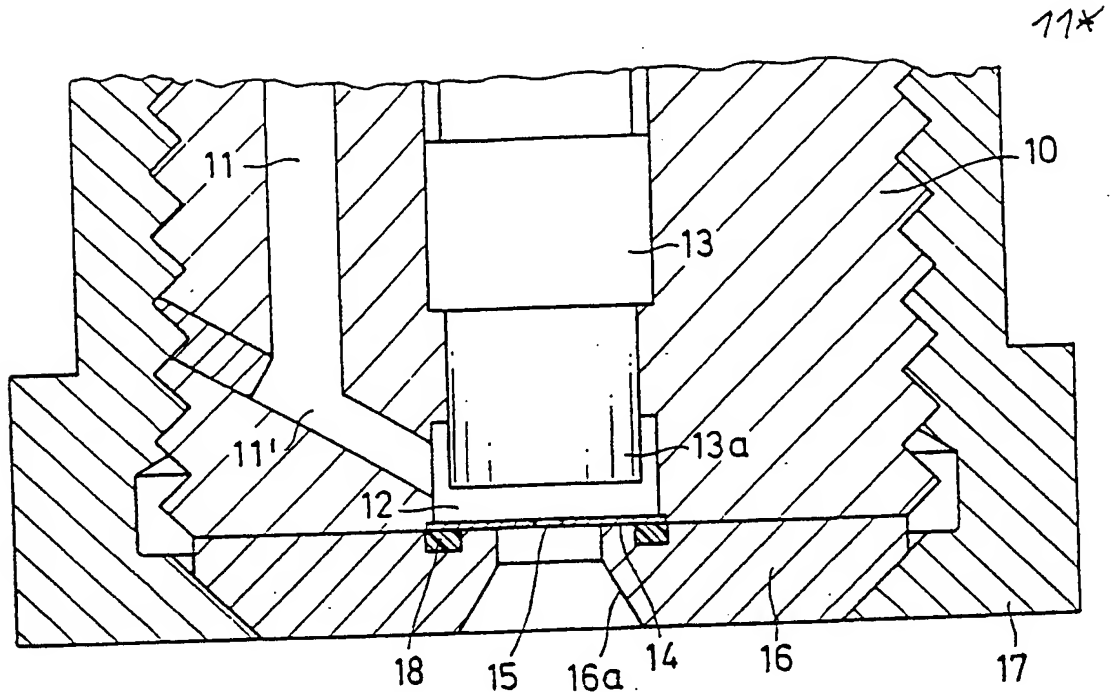


FIG. 1

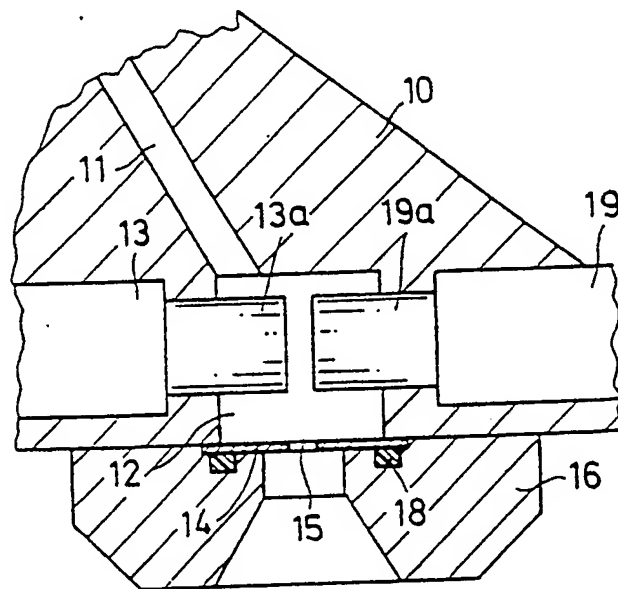


FIG. 2